

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①⑪ N° de publication :

2 774 085

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

98 00806

⑤① Int Cl⁶ : C 03 B 5/235, C 03 B 5/225, 5/193

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 26.01.98.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 30.07.99 Bulletin 99/30.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : SAINT GOBAIN VITRAGE Societe
anonyme — FR.

⑦② Inventeur(s) : JEANVOINE PIERRE, MASSART
TANGUY, RODRIGUEZ CUARTAS RAMON, RODRI-
GUEZ RODRIGUEZ ARMANDO et NUNEZ HERNAN-
DEZ JUAN ANDRES.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : SAINT GOBAIN RECHERCHE.

⑤④ PROCÉDE DE FUSION ET D'AFFINAGE DE MATIERES VITRIFIABLES.

⑤⑦ L'invention a pour objet un procédé de fusion et d'affinage de matières vitrifiables, tel que tout ou partie de l'énergie thermique nécessaire à la fusion desdites matières vitrifiables est apportée par la combustion de combustible (s) fossile (s) avec au moins un gaz comburant, le (s) dit (s) combustibles/ gaz ou les produits gazeux issus de la combustion étant injectés sous le niveau de la masse des matières vitrifiables (7). L'affinage des matières vitrifiables après fusion se fait au moins en partie sous forme de « couche mince ».

L'invention concerne également le dispositif de mise en oeuvre du procédé et ses applications.

FR 2 774 085 - A1



1

5

**PROCEDE DE FUSION ET D'AFFINAGE
DE MATIERES VITRIFIABLES**

10

L'invention concerne un procédé de fusion et d'affinage de matières vitrifiables en vue d'alimenter en verre fondu en continu des installations de formage du verre.

15

Sont plus particulièrement visées les installations de formage de verre plat comme les installations float ou de laminage, mais aussi les installations de formage de verre creux du type bouteille, flacon, de fibres de verre du type laine minérale d'isolation thermique ou phonique ou encore de fils de verre textile dits de renforcement.

20

Beaucoup de travaux de recherche ont porté sur ces procédés comportant schématiquement une première étape de fusion, suivie d'un affinage destiné à conditionner thermiquement et chimiquement le verre fondu, à en supprimer les infondus, les bulles, toute cause de défauts apparaissant après formage.

25

Dans le domaine de la fusion, on a ainsi cherché, par exemple, à accélérer la fusion, ou à en améliorer le rendement énergétique. On peut ainsi citer le procédé consistant à échauffer rapidement, de manière homogène et contrôlée les matières vitrifiables, en opérant un intense brassage mécanique permettant de mettre intimement en contact les

30 matières vitrifiables encore solides avec la phase déjà liquide. Ce procédé est notamment détaillé dans les brevets FR-2 423 452, FR-2 281 902, FR-

2 340 911, FR-2 551 746, et utilise généralement des moyens de chauffage électriques du type électrodes immergées.

Un autre type de procédé de fusion a été développé, par exemple du type de ceux décrits dans les brevets US-3 627 504, US-3 260 587 ou US-
5 4 539 034, consistant à utiliser comme moyens de chauffage des brûleurs immergés, c'est-à-dire des brûleurs alimentés en gaz et en air, généralement disposés de manière à affleurer au niveau de la sole de façon à ce que la flamme se développe au sein même de la masse des matières vitrifiables en cours de liquéfaction.

10 Dans un cas comme dans l'autre, si l'on parvient effectivement à diminuer très significativement le temps de séjour des matières vitrifiables dans la chambre de fusion, à augmenter considérablement le rendement de production par rapport à des fusions « classiques », en revanche, le verre en fusion se présente sous forme d'une mousse qu'il est délicat
15 d'affiner : il est notamment difficile de garantir la même qualité au verre final, notamment optique.

Des recherches ont également été faites dans le domaine de l'affinage. Ainsi, il est par exemple connu du brevet FR-2 132 028 un procédé d'affinage par centrifugation à l'aide d'un dispositif dont les parois
20 internes délimitent une chambre cylindrique d'axe vertical et que l'on met en rotation. Le verre en fusion alimente le dispositif en partie supérieure, et se répartit dans la chambre en définissant une cavité paraboloidale s'établissant naturellement sous l'effet de la force centrifuge.

L'invention a alors pour but l'amélioration de procédés de fusion et
25 d'affinage, visant notamment à utiliser des installations plus compactes et/ou à être plus souples de fonctionnement, et/ou de plus grand rendement de production, et/ou à fabriquer du verre jusque-là difficile à fondre ou à affiner et/ou de plus faible coût énergétique, etc..., sans que ces avantages industriels soient obtenus au détriment de la qualité du
30 verre produit.

L'invention a tout d'abord pour objet un procédé de fusion et d'affinage de matières vitrifiables qui se caractérise par la combinaison de deux caractéristiques :

- ➡ d'une part, tout ou partie de l'énergie thermique nécessaire à la fusion des matières vitrifiables est apportée par la combustion de combustible(s) fossile(s) avec au moins un gaz comburant, lesdits combustibles/gaz ou les produits gazeux issus de la combustion étant injectés sous le niveau de la masse des matières vitrifiables,
- ➡ d'autre part, l'affinage des matières vitrifiables après fusion se fait au moins en partie sous forme de « couche mince ».

Au sens de l'invention, on comprend par affinage « en couche mince » un affinage où l'on contraint les matières vitrifiables en fusion à s'écouler sur une profondeur/épaisseur très faible, pour fixer les idées de par exemple au plus 15 cm et même au plus 10 cm, et cela par différents moyens. On peut notamment contraindre les matières en fusion à s'écouler entre deux parois matérielles rapprochées, la distance les séparant définissant la profondeur/épaisseur de la couche mince (l'écoulement s'obtenant par la force centrifuge ou par simple gravité, par exemple). On peut aussi obtenir ces caractéristiques de couche mince par d'autres moyens, notamment par le choix des dimensions du ou des compartiments d'affinage, du choix des moyens pour les alimenter en entrée ou de les soutirer en sortie. Certains de ces moyens seront détaillés par la suite. En fait, l'intérêt majeur d'imposer ainsi une faible épaisseur au courant des matières vitrifiables en cours d'affinage est que l'on parvient ainsi à réduire considérablement le trajet des bulles contenues dans ces matières en fusion vers la surface libre de celles-ci ou vers les parois qu'elles sont contraintes de longer, et que l'on facilite l'éclatement et l'évacuation de ces bulles.

Il s'est avéré qu'il y avait en fait une synergie extrêmement avantageuse sur le plan industriel entre l'utilisation d'une fusion appelée ci-après « par brûleurs immergés » pour plus de simplicité et celle d'un affinage en « couche mince » tel que défini plus haut.

Cependant, cette combinaison était loin de s'imposer comme une évidence, et on aurait pu s'attendre à ce que tous les avantages détaillés ci-après ne s'obtiennent qu'au prix d'une qualité de verre médiocre, ce qui n'a pas été le cas. En effet, dans l'invention, on utilise un affinage très particulier, en changeant en outre un paramètre de taille, à savoir qu'au lieu d'alimenter la zone d'affinage en verre fondu « classique » à affiner, on l'alimente ici en fait en un verre obtenu par fusion par brûleurs immergés, c'est-à-dire en verre aux caractéristiques tout-à-fait particulières en ce sens qu'il est globalement mousseux, avec une densité relativement faible par rapport à celle d'un verre standard à affiner. Rien ne laissait supposer que l'on parviendrait à affiner correctement en couche mince un verre relativement mousseux au départ.

Or de manière surprenante, cela s'est avéré possible car on a découvert que ce verre mousseux issu d'une fusion par brûleurs immergés présentait également la caractéristique de contenir des bulles de relativement grande dimension : si le verre en sortie de chambre de fusion selon l'invention est effectivement sous forme d'une sorte de mousse qu'il reste à affiner, on peut contrôler la taille des bulles qu'il contient, et notamment supprimer, dans certaines configurations préférées et pour certaines compositions de matières vitrifiables, quasiment toutes les bulles les plus petites, c'est-à-dire de diamètre d'environ moins de 100 μm et même moins de 200 μm , en effectuant sur ce verre lors de sa fusion une sorte de « micro-affinage » préalable au véritable affinage suivant la fusion, micro-affinage facilitant la coalescence des bulles, la disparition des plus petites bulles au profit des plus grosses et favorisé par l'ajout dans les matières vitrifiables d'agents d'aide à l'affinage du type coke ou sulfates. En outre, ce verre en sortie de chambre de fusion a généralement un taux résiduel d'infondus relativement faible : la conjonction de « grosses » bulles et de peu d'infondus autorise ainsi l'utilisation d'un affinage en couche mince, en facilitant grandement l'affinage dont au moins une partie se trouve avoir déjà été réalisée de facto lors de la fusion. Des bulles

« grosses » présentent une vitesse d'ascension plus grande, coalescent plus vite, en final s'évacuent plus vite.

A noter également que, généralement, le verre issu d'une fusion par brûleurs immergés ne contient que peu de sulfate, dont le taux résiduel
5 avant affinage peut descendre jusqu'à moins de 600 ppm, notamment moins de 100 ppm, voire moins de 50 ppm en poids exprimé en SO₃, quel que soit le type de matières vitrifiables pouvant contenir au non des sulfates de manière involontaire, voire en ajoutant volontairement des sulfates. Cela s'expliquerait par la pression partielle d'eau générée par la
10 combustion immergée.

A noter qu'un verre désulfaté donne moins de problèmes de composés volatils dans le bain float, moins de risque de formation de sulfure d'étain et donc en final moins de risque de défaut d'étain sur la feuille de verre. Cela diminue la quantité de sulfures (voire la supprime
15 totalement) dans le cas de verres réduits, notamment des sulfures de fer donnant des couleurs résiduelles jaunes/ambres peu souhaitées ou des inclusions de sulfure de nickel, qui peuvent provoquer la casse du verre lors de traitements thermiques du type trempe.

L'invention permet ainsi éventuellement d'avoir des verres très
20 pauvres en sulfate avant même l'opération d'affinage, donc des verres au moins aussi pauvres après affinage, et ceci sans avoir à purifier/sélectionner des matières vitrifiables pour qu'elles aient peu de sulfate. Au contraire, on peut même ajouter du sulfate au départ.

Un effet avantageux obtenu par la combinaison selon l'invention,
25 concerne le coût énergétique du procédé : la fusion par brûleurs immergés permet de ne pas avoir recours à la fusion électrique du type électrodes immergés, dont le coût peut être très significatif suivant les pays. En outre, et c'est le point le plus important, la fusion par brûleurs immergés crée un brassage convectif au sein des matières vitrifiables en cours de
30 liquéfaction, comme détaillé par la suite. Ce mélange très fort entre matières non encore liquéfiées et celles qui sont déjà en fusion est extrêmement efficace, et permet d'obtenir une fusion, à matières

vitriifiables de composition chimique identique, à température moins élevée et/ou beaucoup plus rapide qu'avec des moyens de chauffage traditionnels.

5 Les températures rencontrées dans la fusion peuvent être globalement moins élevées que dans des procédés usuels, ce qui est très intéressant économiquement, simplement en terme de coût énergétique, mais également par le choix des matériaux du type réfractaires entrant dans la fabrication des installations : moins chauds, ils se corrodent moins vite.

10 Les temps de séjour dans la zone de fusion et dans celle de l'affinage sont significativement réduits et compatibles, ce qui est évidemment très positif sur le rendement de production, sur la tirée de l'installation dans son ensemble. Parallèlement, l'invention permet d'obtenir des installations très compactes : en effet, la fusion par brûleurs immergés,
15 toujours grâce au brassage très fort qu'elle provoque, permet de réduire considérablement la taille de la chambre de fusion. Et l'affinage en couche mince a les mêmes conséquences sur la taille du ou des compartiments où s'effectue cette opération. En diminuant ainsi la profondeur de verre lors de l'affinage, on évacue plus vite les bulles et on peut donc réduire
20 considérablement la « longueur » (dans le sens d'écoulement du verre) du ou des compartiments d'affinage. Globalement, l'installation peut donc être très compacte, avec des gains clairs en termes de coût de construction, de simplification de fonctionnement, de réduction de l'usure des matériaux de construction, ...

25 En ce qui concerne l'opération de fusion, le comburant choisi peut être selon l'invention à base d'air, d'air enrichi en oxygène ou même substantiellement à base d'oxygène. Une forte concentration en oxygène dans le comburant est en effet avantageux pour différentes raisons : on diminue ainsi le volume des fumées de combustion, ce qui est favorable
30 sur le plan énergétique et ce qui évite tout risque d'une fluidisation excessive des matières vitriifiables pouvant provoquer des projections sur les superstructures, voûtes de la chambre de fusion. En outre, « les

flammes » obtenues sont plus courtes, plus émissives, ce qui permet un transfert plus rapide de leur énergie vers les matières vitrifiables, et accessoirement de diminuer si on le souhaite la profondeur du « bain » de matières vitrifiables en cours de liquéfaction. On parle ici de « flammes »,
5 mais ce ne sont pas forcément des flammes au sens habituel du terme. On peut parler plus généralement, comme dans la suite du texte, de « combustions ». En outre, toute éventuelle émission de gaz NOx polluant est ainsi réduite au minimum.

Avantageusement, la fusion s'effectue selon l'invention dans au
10 moins une chambre de fusion que l'on équipe de brûleurs disposés de façon à ce que leur combustion ou gaz de combustion se développent dans la masse des matières vitrifiables en cours de fusion. On peut ainsi les faire traverser ses parois latérales, la sole et/ou les suspendre par le dessus, en les accrochant à la voûte ou à toute superstructure appropriée.
15 Ces brûleurs peuvent être tels que leurs conduits d'amenée des gaz affleurent la paroi qu'ils traversent. Il peut être préférable que ces conduits « entrent » au moins en partie dans la masse des matières vitrifiables, de manière à éviter que les flammes ne soient à trop grande proximité des parois et n'entraînent des usures prématurées des
20 matériaux réfractaires. On peut aussi choisir de n'injecter que les gaz de combustion, les combustions étant réalisées hors de la chambre de fusion à proprement dite.

Comme évoqué plus haut, il s'est avéré que ce mode de chauffage provoquait par convection un brassage intense des matières vitrifiables :
25 des boucles de convection se forment ainsi de part et d'autre des combustions ou « flammes » ou courants de gaz de combustion, mêlant en permanence matières fondues et non encore fondues de manière très efficace. On retrouve ainsi les caractéristiques très favorables d'une fusion « agitée », sans avoir recours à des moyens d'agitation mécaniques peu
30 fiables et/ou susceptibles d'usure rapide.

De préférence, on règle la hauteur de la masse des matières vitrifiables dans la chambre de fusion ainsi que celle sur laquelle se

développent les combustions ou gaz issus de la combustion pour que ces combustions/gaz restent dans la masse desdites matières vitrifiables : le but est de laisser s'établir ainsi les boucles de circulation convective dans la matière en cours de liquéfaction.

- 5 De manière générale, ce type de fusion permet de réduire considérablement l'émission de tout type de poussières au niveau de la chambre de fusion, et de gaz type NOx car les échanges thermiques se font très vite, évitant les pics de températures susceptibles de favoriser la formation de ces gaz. Il réduit également considérablement l'émission des
10 gaz de type COx, la consommation énergétique totale de l'installation étant plus faible qu'avec des dispositifs conventionnels utilisant des fours à flammes fonctionnant en inversion par exemple.

On peut optionnellement prévoir de faire précéder la fusion par une étape de préchauffage des matières vitrifiables, à une température
15 cependant nettement inférieure à celle nécessaire pour les liquéfier, par exemple à au plus 900°C. Pour réaliser ce préchauffage, on peut avantageusement récupérer l'énergie thermique des fumées. En les épuisant ainsi thermiquement, on peut globalement diminuer la consommation énergétique spécifique de l'installation.

- 20 Les matières vitrifiables peuvent comprendre des matières premières, mais aussi du calcin, voire des déchets destinés à être vitrifiés. Elles peuvent comprendre également des éléments combustibles (organiques) : on peut ainsi recycler, par exemple, des fibres minérales ensimées, avec liant.

- 25 On peut aussi recycler des vitrages feuilletés avec des feuilles de polymère de type polyvinylbutyral, tels que des parebrises équipant les véhicules, ou d'autres types de matériaux composites associant du verre et des matériaux plastiques tels que certaines bouteilles par exemple.

- On peut aussi recycler des vitrages fonctionnalisés avec des
30 revêtements contenant des métaux, jusque-là difficiles à recycler car cela risquait d'entraîner un enrichissement progressif de la chambre de fusion en métaux s'accumulant à la surface de la sole. Mais le brassage imposé

par la fusion selon l'invention permet d'éviter cette sédimentation, et ainsi de recycler, par exemple, des vitrages revêtus de couches d'émail, de couche de métal, de différents éléments de connectique.

Les éléments combustibles introduits peuvent être aussi bien sous
5 forme solide que sous forme liquide, et se substituer en partie au moins aux combustibles fossiles liquides ou gazeux alimentant les brûleurs.

Le procédé selon l'invention peut fonctionner avec un taux de calcin élevé.

Comme mentionné plus haut, l'affinage selon l'invention est donc
10 opéré sur des matières vitrifiables en fusion du type verre à l'état relativement mousseux. Typiquement, cette « mousse » a une masse volumique d'environ 0,5 à 2 g/cm³, notamment 1 à 2 g/cm³ par exemple (à comparer à une masse volumique de l'ordre de 2,3 g/cm³ pour du verre non mousseux), elle peut avoir un taux de sulfate d'au plus 600 ou même
15 d'au plus 100 ppm exprimé en poids de SO₃ et surtout contenir une majorité de bulles de diamètre d'au moins 100 ou 200 µm.

Pour améliorer les performances de l'affinage, on ajoute de préférence aux matières vitrifiables des additifs d'aide à l'affinage divers, le but était notamment de faire disparaître du verre les bulles de diamètre
20 inférieur à 100 et même inférieur à 200 µm dès le stade de la fusion, comme évoqué plus haut. Il peut s'agir d'additifs réducteurs, tel que le coke (qui permet aussi d'ajuster le rédox du verre). Dans ce cas, il est avantageux de sélectionner de la poudre de coke de granulométrie moyenne inférieure à 200 µm. Il peut aussi s'agir de sulfates. D'autres
25 additifs d'aide à l'affinage seront plutôt efficaces lors du stade d'affinage à proprement parlé, après celui de la fusion. Ils permettent notamment de « déstabiliser » la mousse : il s'agit par exemple de fluor ou composé fluoré, ou encore de nitrate du type NaNO₃ : le fluor paraît abaisser la viscosité du verre, il permettrait ainsi de faciliter le drainage des films qui se
30 forment entre les bulles, drainage favorisant l'effondrement de la mousse. Il abaisse aussi la tension de surface du verre.

Avantageusement, le procédé selon l'invention permet d'opérer la fusion à des températures n'excédant pas 1400°C, notamment d'au plus 1380 ou 1350°C, et l'affinage à des températures n'excédant pas 1500°C..

L'affinage selon l'invention, selon une première variante, peut être fait dans au moins un compartiment statique (immobile en fonctionnement) en aval de la chambre de fusion, du type canal d'écoulement, et muni de moyen(s) pour contraindre les matières vitrifiables en fusion à s'affiner en couche mince, notamment sur une profondeur d'au plus 15 cm ou d'au plus 10 cm. Ce(s) moyen(s) peuvent également avantageusement contribuer à éviter la formation d'un courant de verre de retour dans la masse des matières vitrifiables en fusion s'écoulant dans le(s)dit(s) compartiment(s). Le « courant de retour » se rapporte aux courroies de recirculation convective que l'on trouve au sein des matières vitrifiables dans la plupart des compartiments d'affinage conventionnels. Pour plus de détails sur un mode d'obtention non limitatif de la suppression de ce courant de retour et les avantages qui y sont liés, on se reportera avantageusement par exemple au brevet EP-616 983..

Il s'est en effet avéré qu'un très grand avantage lié à un écoulement en couche mince était que l'on pouvait supprimer tout courant de retour, en ayant dans le compartiment d'affinage un écoulement du type écoulement piston. Dans un écoulement piston, les matières en fusion n'ont plus de composante de vitesse dirigée vers le bas, les bulles tendant à monter vers la surface du verre ne peuvent plus être contraintes de « replonger » à nouveau dans le bain par un entraînement dû aux courants de recirculation convective ainsi supprimés.

Selon une seconde variante, l'affinage est opéré toujours en aval de la chambre de fusion, mais dans un compartiment susceptible d'être mis en rotation afin d'assurer l'affinage par centrifugation, ce compartiment étant en outre muni de moyen(s) pour contraindre les matières vitrifiables en fusion à s'affiner en couche mince sur une « épaisseur relative » $R1/R0$ d'au moins 0,8, ou, en valeurs absolues, sur une « épaisseur absolue » d'au plus 10 cm.

Au sens de l'invention, on comprend le rapport $R1/R0$ de la façon suivante : $R0$ est le rayon moyen de la cavité sensiblement cylindrique que délimite le compartiment et dans laquelle s'écoule la matière en fusion, $R1$ est le rayon moyen des moyens de cloisonnement que l'on introduit dans
5 la cavité pour imposer aux matières en fusion un trajet entre les parois internes de la cavité et les moyens de cloisonnement.

Une troisième variante consiste à combiner les deux précédentes, notamment en utilisant pour l'affinage un premier compartiment statique, puis un second en rotation.

10 (Dans le cadre de l'invention, les termes « amont » et « aval » se réfèrent à la direction de l'écoulement du verre dans l'installation depuis l'enfournement des matières vitrifiables dans la chambre de fusion jusqu'à l'extraction du verre affiné).

Le procédé de fusion/d'affinage selon l'invention permet de fabriquer
15 des verres de compositions et de propriétés très variées. Du fait de sa faible inertie, il permet d'ailleurs de passer d'une composition à une autre avec des temps de transition très courts. Il permet d'alimenter en verre fondu affiné des installations de formage de verre plat, de verre creux, de laine de verre ou de fils de verre de renforcement.

20 Il permet ainsi de fabriquer des verres relativement réduits, présentant notamment un rédox supérieur ou égal à 0,3. (On définit le rédox comme le rapport de la teneur en pourcentage en poids de fer ferreux FeO sur la teneur en fer total pondéral de la composition exprimée sous forme de Fe_2O_3).

25 Il permet également de fabriquer des verres à taux de SiO_2 élevé, par exemple d'au moins 72 ou même au moins 75% en poids, verres généralement difficiles à fondre, mais intéressants, notamment en termes de coût de matières premières, du fait qu'ils sont de faible densité, et qu'ils présentent une très bonne compatibilité avec des matériaux
30 plastiques. Il permet aussi de fabriquer des verres assez particuliers, à fort taux d'oxyde d'alcalino-terreux, par exemple contenant au moins 18% en poids de CaO , pourtant assez corrosifs avec les procédés de fusion

traditionnels à plus haute température que dans l'invention, ainsi que des verres à faible taux d'oxyde de sodium, d'au plus 11% en poids par exemple, ou à faible taux de sulfates, d'au plus 600 ppm par exemple. Des verres contenant du fer, de rédox élevé mais à teneur en sulfate faible permettent également l'obtention de verres à couleur résiduelle dans les bleus, particulièrement esthétique et recherchée dans le domaine du verre plat pour l'automobile et pour le bâtiment par exemple. On peut ainsi obtenir des verres anti-solaires très sélectifs, sur lesquels on peut déposer des couches anti-solaires pour en renforcer les performances thermiques, du type TiN par exemple, couches décrites notamment dans les brevets EP-638 527 et EP-511 901.

L'invention a également pour objet un dispositif de fusion et d'affinage, notamment adapté pour la mise en oeuvre du procédé décrit plus haut, et qui comporte :

- ➡ au moins une chambre de fusion équipée de brûleurs alimentés en combustibles fossile(s) du type gaz (naturel) et en comburant(s) du type air ou oxygène, lesdits brûleurs étant disposés de façon à injecter ces gaz ou les gaz issus de la combustion sous le niveau de la masse des matières vitrifiables introduite dans ladite chambre de fusion,
- ➡ au moins un compartiment d'affinage en aval de la chambre de fusion et comprenant des moyens pour contraindre les matières vitrifiables en fusion à s'affiner sous forme de « couche mince ».

Selon une première variante évoquée plus haut, le compartiment d'affinage est statique. Il comporte un canal d'écoulement comprenant un chenal et une voûte. Les moyens pour contraindre les matières vitrifiables en fusion à s'affiner dans le canal en couche mince, notamment sur une profondeur inférieure à 15 cm, créant ainsi un écoulement de type piston, sont d'ordre par exemple structurel et comprennent la sélection appropriée du rapport de la hauteur moyenne sur la largeur moyenne dudit canal, rapport inférieur à 1 et même inférieur à 0,5.

Ce canal peut comprendre, cumulativement ou alternativement avec les moyens précédents, des moyens pour contraindre les matières

vitriifiables à s'affiner en couche mince sous forme de moyens de réglage/régulation du débit des matières à l'entrée et/ou à la sortie dudit canal, ou juste en amont de ce dernier.

Ce canal peut comprendre, cumulativement ou alternativement avec
5 les moyens précédents, d'autres moyens pour l'obtention d'un affinage en couche mince, à écoulement piston.

En fait, généralement, ces moyens consistent à prendre en compte le débit de matière dans le compartiment d'affinage et la surface développée par le bain de matières en fusion dans le compartiment de fusion, de
10 façon à déterminer la profondeur suffisamment faible pour obtenir une couche mince à écoulement piston.

Le canal peut par ailleurs être équipé de moyens de chauffage, notamment du type brûleurs conventionnels disposés au-dessus des matières vitriifiables, de préférence des brûleurs à oxygène.

15 Le canal peut également être muni de moyens d'homogénéisation des matières vitriifiables, du type agitateurs mécaniques par exemple.

Selon une seconde variante, le compartiment d'affinage comporte au moins un appareil susceptible d'être mis en rotation pour assurer l'affinage par centrifugation, les parois internes dudit appareil délimitant
20 sensiblement la forme d'un cylindre creux vertical au moins dans sa partie médiane.

Pour contraindre les matières vitriifiables à circuler en couche mince dans cet appareil centrifugeur, on peut équiper avantageusement la cavité de ce dernier de cloison(s) sur au moins une partie de sa hauteur, venant
25 contraindre les matières en fusion à s'écouler entre les parois internes de l'appareil et ces cloisons, la distance moyenne parois/cloisons définissant « l'épaisseur » de la couche mince. En fait, selon l'invention, on empêche de se former le profil en forme de parabole que prend naturellement le verre en fusion quand il est centrifugé « librement », c'est-à-dire
30 uniquement cantonné par des parois extérieures de type cylindrique. Au contraire, selon l'invention, on l'oblige à longer les parois de l'appareil et des cloisons que l'on a installées dans le corps du centrifugeur, sur une

épaisseur relativement constante sur la hauteur du centrifugeur et bien plus faible que si on laissait s'établir le profil paraboloidal évoqué plus haut. On gagne ainsi considérablement en efficacité, les bulles venant s'éclater sous la force centripète beaucoup plus vite sur les cloisons, le
5 trajet des bulles étant beaucoup plus court. On peut parler d'un écoulement piston comme dans la variante statique. Cela permet de réduire la hauteur du centrifugeur, sa taille tout en gardant les mêmes performances. De préférence, la distance cloisons/parois est d'au plus quelques centimètres, ou définie par le rapport $R1/R0$ d'au moins 0,8,
10 rapport explicité plus haut.

Selon une conception préférée, l'appareil est alimenté en partie supérieure en matières vitrifiables en fusion pour un moyen d'amenée statique du type canal d'écoulement. Ces moyens d'amenée peuvent comprendre au moins un compartiment mis sous pression réduite pour
15 permettre l'alimentation de l'appareil et/ou d'opérer un premier affinage.

L'appareil peut avantageusement être muni de moyens de piégeage de particules solides de densité supérieure à celle du verre, moyens notamment localisés dans sa zone inférieure et sous forme d'encoches/de rainures pratiquées dans ses parois internes. De préférence, on
20 sélectionne la vitesse de rotation de l'appareil entre 100 et 1500 tours par minute.

L'invention sera ci-après détaillée à l'aide de deux modes de réalisation non limitatifs, illustrés par les figures suivantes :

□ figure 1 : une installation schématique de fusion/affinage
25 utilisant un dispositif d'affinage statique,

□ figure 2 : une installation schématique de fusion/affinage utilisant un dispositif d'affinage par centrifugation.

□ figure 3 : une vue agrandie du dispositif d'affinage de l'installation selon la figure 2.

30 Ces figures ne sont pas nécessairement à l'échelle et pour plus de clarté sont extrêmement simplifiées.

Les dispositifs décrits ci-après sont adaptés pour fondre et affiner des verres de compositions très variées, ici des verres destinés à alimenter une installation float pour produire du verre plat. Mais cette application n'est pas limitative. Ces verres peuvent également alimenter notamment des outils de formage de verre creux ou des outils de fibrage du type dispositif par centrifugation interne.

Outre, bien sûr, tous les verres standards du type silico-sodo-calciq, différents types de verres spéciaux sont particulièrement intéressants à fabriquer avec les dispositifs selon l'invention, notamment ceux jugés jusque-là difficiles à fondre :

➡ les verres à faible taux de Na_2O et relativement fort taux d'oxyde alcalino-terreux, notamment de CaO , avantageux sur le plan économique en termes de coût de matières premières, mais assez corrosifs aux températures de fusion conventionnelles et relativement durs à fondre par des procédés classiques. Il peut s'agir des compositions de verre par exemple décrites dans le brevet FR97/08261 du 1er juillet 1997, telles que (% pondéraux) :

SiO_2	72-74,3%
Al_2O_3	0-1,6%
Na_2O	11,1-13,3%
K_2O	0-1,5%
CaO	7,5-10%
MgO	3,5-4,5%
Fe_2O_3	0,1-1%

ou encore de compositions du type (exprimées en pourcentages pondéraux) :

SiO_2	66-72, notamment 68-70%
Al_2O_3	0- 2%
Fe_2O_3	0-1%
CaO	15-22%
MgO	0-6, notamment 3-6%
Na_2O	4-9, notamment 5-6%

16

K ₂ O	0-2, notamment 0-1%
SO ₃	traces

Un exemple illustrant cette famille de compositions est le suivant :

SiO ₂	69%
Al ₂ O ₃	1%
Fe ₂ O ₃	0,1%
CaO	18,9%
MgO	5%
Na ₂ O	5,6%
K ₂ O	0,3%
SO ₃	traces

Ce verre présente une température inférieure de recuisson appelée également « strain point » de 590°C (température à laquelle le verre a une viscosité de 1014,5 poises). Il a aussi une température de liquidus de 1225°C, une température T(log2) de 1431°C et une température T(log3,5) de 1140°C [T log(2) et T log(3,5) correspondent aux températures que le verre a respectivement quand il atteint en poises une viscosité de log2 ou log3,5]. Il a des propriétés de verre anti-feu résultant de son point de ramollissement élevé supérieur à 800°C et des propriétés adéquates pour une application dans les écrans plasma grâce à son « strain point » élevé.

➡ des verres à fort taux de silice, eux-aussi intéressants sur le plan économique, et avec une relativement faible densité dont le domaine de compositions, toujours exprimé en pourcentages pondéraux, est le suivant :

SiO ₂	72 à 80%
CaO + MgO + BaO	0,3 à 14%
Na ₂ O	11 à 17%
oxydes alcalins	11 à 18,5%
Al ₂ O ₃	0,2 à 2%
B ₂ O ₃	0 à 2%
Fe ₂ O ₃	0 à 3%
SO ₃	traces éventuellement

coke 0 - 600 ppm

et éventuellement des oxydes colorants oxyde de Ni, Cr, Co, ...)

(Ces verres ont la particularité d'être particulièrement visqueux).

Un exemple illustrant cette famille de compositions est le suivant :

SiO ₂	76,4%
Fe ₂ O ₃	0,1%
Al ₂ O ₃	0,1%
CaO	7,6%
MgO	5%
Na ₂ O	10%
K ₂ O	0,3%

Il a une densité d'environ 2,46 (à comparer aux densités de 2,52 du verre silico-sodo-calcique standard du type « Planilux » commercialisé par Saint-Gobain Vitrage).

- 5 ➡ On a également vu plus haut que l'on pouvait obtenir avec le procédé selon l'invention des verres réduits, dont le fort rédox, la teneur en fer, et le faible taux de sulfate permettent l'obtention de verres de couleur résiduelle bleue.
- 10 ➡ Avec le procédé selon l'invention, on peut aussi fabriquer des verres à taux nul ou quasiment nul en oxydes alcalins du type Na₂O, notamment en vue d'applications pour des vitrages anti-feu ou pour des substrats utilisés dans l'industrie électronique. On peut pour de telles compositions se reporter notamment aux brevets EP-526 272 et EP-576 362.
- 15 D'autres verres, notamment à faible taux de MgO du type de ceux décrits dans les brevets EP-688 741 et WO96/00194 peuvent également être fabriqués par le procédé de l'invention.

Un premier mode de réalisation est donc représenté à la figure 1 : un canal 1 permet à la fois d'introduire les matières vitrifiables dans la chambre de fusion 2 par la voûte 3 et d'évacuer les fumées de combustion. Ces fumées vont préchauffer les matières vitrifiables, on récupère ainsi leur énergie thermique. La sole 4 de la chambre est équipée de rangées de brûleurs 5 qui la traversent et pénètrent dans la chambre de fusion sur

une hauteur réduite. Les brûleurs 5 sont de préférence munis de moyens de refroidissement non représentés, du type boîte à eau. Les brûleurs 5 en fonctionnement développent des combustions dans des zones 6, créant à leur proximité des courants de convection au sein de la matière vitrifiable en cours de liquéfaction. Ce brassage convectif crée une mousse qui va transférer l'énergie thermique dans l'ensemble du bain 7. La fusion s'effectue de préférence vers 1350°C, par exemple pour un verre standard de la famille des verres silico-sodo-calciques. Le verre mousseux fondu est ensuite soutiré en partie basse par un canal 8 muni optionnellement d'un moyen de réglage de débit du type poinçon non représenté. On peut ainsi contrôler le débit du verre mousseux entrant dans le compartiment d'affinage statique. Ce compartiment se présente sous la forme d'un canal 9 défini par un chenal 10 et une voûte 11. Il est équipé de brûleurs à oxygène 12. Les matières vitrifiables s'écoulent dans le canal sans courant de retour, sur une hauteur H d'environ 5 à 10 cm. Cette hauteur est réglée de façon à avoir dans le canal 9 l'écoulement piston voulu, en prenant en compte les masses volumiques des matières en fusion dans la chambre de fusion 2 et dans le canal 9, ainsi que les hauteurs de bain 11 et 12 dans ces deux zones. Pour obtenir la couche mince recherchée, il est ici nécessaire de réhausser le niveau de la sole 10 du canal 9 par rapport à celui de la sole 4 de la chambre 2.

En sortie du canal 9, un barrage immergé 13 plongeant sur une profondeur réglable dans le bain de matières en fusion permet de réguler le débit en sortie ; le verre affiné se déverse en fin de canal 9 pour alimenter une installation de formage, ici l'enceinte d'un bain float par exemple. L'affinage s'opère donc sur une profondeur de verre très faible, ce qui raccourcit le trajet des bulles vers la surface, (leur vitesse d'ascension étant encore facilitée quand elles sont déjà très majoritairement d'au moins 200 μm), et les empêche par l'écoulement piston obtenu, à replonger en cours d'ascension dans le bain.

Les figures 2 et 3 représentent le second mode de réalisation. Pour plus de simplicité, ne sera pas à nouveau décrite la chambre de fusion 2, qui est de même conception que celle représentée à la figure 1.

La différence principale réside dans la façon dont le verre est soutiré de la chambre de fusion. Dans le cas de la figure 2, le verre est soutiré un peu plus « haut », avec un conduit d'amenée 20 se décomposant en une première partie horizontale 20(a), une seconde partie verticale 20(b) et une troisième partie horizontale 20(c) alimentant l'appareil du centrifugeur 21. Une autre variante consiste à ce que le verre en fusion soit soutiré de la chambre de fusion en partie supérieure, par exemple à l'aide d'une gorge immergée comme cela est bien connu dans le domaine verrier.

La figure 3 se concentre sur la zone horizontale 20(c) du canal d'amenée du verre mousseux en fusion 20 soutiré de la chambre de fusion 2, qui alimente en verre le corps du centrifugeur 21 via un conduit 20'. Le centrifugeur 21 présente une partie supérieure 22 comprise entre le col 35 alimenté en verre à affiner et la plaque métallique 24, et une partie inférieure 30 se situant sous la plaque métallique 24. Peuvent être prévus des moyens non représentés destinés à contrôler le débit de verre entrant dans le centrifugeur.

Le verre descendant par le col 35 dans le centrifugeur est stoppé dans sa chute par la plaque métallique 24 qui, en associant avec la partie supérieure de la cloison 34 décrite ci-après crée une sorte de « panier » collecteur. Le verre sous l'effet de la force centrifuge tend à remonter dans la zone 26 puis à passer au-dessus de la cloison 34 ; il s'écoule ainsi de la zone 26 à la zone 30, sous forme d'une couche mince cantonnée par la paroi interne 33 du centrifugeur 21 d'une part, et par la cloison 34 disposée dans la cavité du centrifugeur d'autre part. La paroi interne 33 est de forme sensiblement cylindrique de rayon R_0 , la cloison 34 comporte une zone cylindrique 34(a) de rayon R_1 , fermée en partie basse dans la zone 34(b). La cloison 34 est munie de moyens de centrage non représentés, tout comme la plaque 24. En pointillés est représenté de

manière schématique le profil en forme de parabole qu'aurait le verre sous l'effet centrifuge s'il n'y avait pas la cloison 34.

La cloison 34 et la plaque 24, tout au moins pour les parties complètement immergées dans le verre, peuvent avantageusement être en molybdène.

Le garnissage extérieure de la paroi interne 33 du corps du centrifugeur 21 peut être constitué de pièces réfractaires électrofondues 32 comportant un isolant thermique 31 incorporé de façon à ce que celui-ci ne soit pas écrasé par la force centrifuge. Est également prévue une encoche, rainure 28 faisant le tour de la paroi interne de la partie 30 (ou discontinue), qui permet de piéger toutes les particules solides de densité supérieure à celle du verre, du type inclusions de réfractaires. Lors de l'affinage par centrifugation, les particules solides plus denses que le verre sont projetées contre les parois et piégées dans les rainures 28 d'où elles ne peuvent plus ressortir. Les bulles par contre viennent par action centripète éclater vers l'intérieur du corps du centrifugeur contre la cloison 34. En final, on soutire dans la partie la plus basse de la partie 30 le verre affiné par un canal par une tête de réception à forme approximativement d'entonnoir 29. En condition standard de fonctionnement, il n'est pas nécessaire de prévoir des moyens de réchauffage du verre, la vitesse de rotation peut être de l'ordre de 700 tours par minute et la hauteur h du centrifugeur de par exemple 1 à 3 mètres.

Dans un cas comme dans l'autre (affineur statique ou centrifuge), on voit qu'on peut compacter considérablement la taille des dispositifs de fusion/affinage disponibles actuellement. On a aussi intérêt à ajouter aux matières vitrifiables des agents d'aide à l'affinage dont le rôle a été décrit plus haut, notamment du coke à faible granulométrie, du sulfate, du nitrate ou du fluor.

Il est important de souligner que, même si la combinaison d'une fusion par brûleurs immergés avec un affinage en couche mince est extrêmement avantageuse, l'invention porte aussi sur ces deux aspects

pris séparément. On peut ainsi avec avantage utiliser le mode de fusion par brûleurs immergés avec un affinage standard, et réciproquement utiliser un affinage en couche mince suivant une fusion par des moyens de chauffage conventionnels, tout en restant dans le cadre de l'invention, même si l'on n'obtient plus alors la synergie soulignée plus haut.

A noter également que l'on peut utiliser avantageusement le mode de fusion par brûleurs immergés sans plus avoir du tout recours à un affinage au sens habituel du terme. Cela peut être le cas dans le domaine du fibrage, où l'on peut envisager d'alimenter les machines de fibrage par centrifugation interne directement en verre mousseux obtenu par fusion par brûleurs immergés, la centrifugation imposée par cette technique de fibrage réalisant de facto l'affinage du verre. On peut aussi envisager de flotter, laminier ou mettre en forme directement le verre mousseux issu de la fusion, en vue de fabriquer du verre-mousse utilisé comme isolant dans le domaine du bâtiment par exemple.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fusion et d'affinage de matières vitrifiables, **caractérisé en ce que** tout ou partie de l'énergie thermique nécessaire à la fusion desdites matières vitrifiables est apportée par la combustion de combustibles fossiles avec au moins un gaz comburant, le(s)dit(s) combustibles/gaz ou les produits gazeux issus de la combustion étant injectés sous le niveau de la masse des matières vitrifiables (7) et en ce que l'affinage des matières vitrifiables après fusion se fait au moins en partie sous forme de « couche mince ».
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le comburant est à base d'air, d'air enrichi en oxygène ou d'oxygène.
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la fusion des matières vitrifiables s'effectue dans au moins une chambre de fusion (2) que l'on équipe de brûleurs (5) traversant ses parois latérales et/ou traversant la sole (4) et/ou suspendus à partir de la voûte (3) ou de superstructures de façon à ce que leurs combustions (6) ou gaz de combustion se développent dans la masse des matières vitrifiables en cours de fusion (7).
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les combustions (6) créées par la combustion de combustibles fossiles avec le(s) gaz comburant(s) et/ou les gaz issus de ladite combustion assurent par convection le brassage des matières vitrifiables (7).
5. Procédé selon la revendication 3 ou la revendication 4, **caractérisé en ce qu'on** règle la hauteur de la masse des matières vitrifiables (7) dans la chambre de fusion (2) et la hauteur sur laquelle se développent les combustions (6)/gaz issus de la combustion pour que lesdits combustibles/gaz de combustion restent dans la masse desdites matières vitrifiables.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la fusion est précédée d'une étape de préchauffage des matières vitrifiables à au plus 900°C.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les matières vitrifiables comprennent des matières premières et/ou du calcin et/ou des déchets vitrifiables et/ou des éléments combustibles.

5 8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'affinage est opéré sur les matières vitrifiables en fusion du type verre à l'état mousseux, présentant notamment une masse volumique d'environ 0,5 à 2 g/cm³.

9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** l'affinage
10 est opéré sur des matières vitrifiables en fusion du type verre à l'état mousseux, présentant une majorité de bulles d'au moins 100 ou même d'au moins 200 µm de diamètre

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les matières vitrifiables contiennent des additifs d'aide à
15 l'affinage, notamment des additifs réducteurs du type coke, de préférence de granulométrie moyenne inférieure à 200 µm, des sulfates, ou des additifs à base de fluor ou de nitrates du type NaNO₃.

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la fusion s'opère à au plus 1400°C, notamment au plus 1380
20 ou 1350°C et l'affinage à au plus 1500°C.

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'affinage est opéré dans au moins un compartiment statique
situé en aval de la chambre de fusion (2), du type canal d'écoulement (9) et muni de moyen(s) pour contraindre les matières vitrifiables en fusion à
25 s'affiner en couche mince, notamment sur une profondeur d'au plus 15 cm, de préférence d'au plus 10 cm, avec un écoulement de type écoulement piston.

13. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que**
le(s)dit(s) moyen(s) évitent la formation d'un courant de verre de retour
30 dans la masse des matières vitrifiables en fusion s'écoulant dans le(s)dit(s) compartiments (9).

14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** l'affinage est opéré dans au moins un compartiment (21) situé en aval de la chambre de fusion (2) et susceptible d'être mis en rotation pour assurer un affinage par centrifugation, compartiment muni de moyen(s) pour contraindre les matières vitrifiables en fusion à s'affiner en couche mince, sur une « épaisseur » $R1/R0$ d'au moins 0,8, ou sur une épaisseur absolue d'au plus 10 cm.

15. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** fabrique des verres à rédox supérieur ou égal à 0,3.

10 16. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** fabrique des verres à taux de SiO_2 élevé, d'au moins 72% en poids et/ou à taux d'oxydes alcalino-terreux élevé, d'au moins 18% en poids, et/ou à taux de Na_2O faible, voire nul ou quasiment nul, d'au plus 11%, et/ou à taux de sulfate faible, notamment d'au plus 600 ppm en
15 poids exprimé en SO_3 .

17. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** alimente en verre fondu affiné des installations de formage de verre plat, de verre creux, de laine de verre ou de fils de verre de renforcement.

20 18. Dispositif de fusion et d'affinage de matières vitrifiables, notamment destiné à mettre en oeuvre le procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comporte :

➡ au moins une chambre de fusion (2) équipée de brûleurs (5) alimentés en combustible(s) fossile(s) du type gaz naturel et en comburant(s) du type air ou oxygène, lesdits brûleurs étant disposés de façon à injecter
25 lesdits combustibles/gaz ou gaz issus de leur combustion sous le niveau de la masse (7) des matières vitrifiables introduites dans ladite chambre de fusion,

➡ au moins un compartiment d'affinage (9, 21) en aval de la chambre de fusion (2) et comprenant des moyens pour contraindre les matières
30 vitrifiables en fusion à s'affiner sous forme de « couche mince ».

19. Dispositif selon la revendication 18, **caractérisé en ce que** le(s) compartiment(s) d'affinage (9) est (sont) statique(s) et comporte(nt) un canal d'écoulement comprenant un chenal (10) et une voûte (11), le(s) moyen(s) pour contraindre les matières vitrifiables en fusion à s'affiner dans ledit canal en couche mince, avec un écoulement de type écoulement piston, notamment sur une profondeur inférieure à 15 cm, étant au moins la sélection du rapport de la hauteur moyenne sur la largeur moyenne dudit canal, rapport inférieur à 1 et notamment inférieur à 0,5.

20. Dispositif selon la revendication 18 ou 19, **caractérisé en ce que** le(s) compartiment(s) d'affinage est (sont) statique(s) et comporte(nt) un canal d'écoulement comprenant un chenal (10) et une voûte (11), le(s) moyen(s) pour contraindre les matières vitrifiables en fusion à s'affiner dans ledit canal en couche mince, notamment sur une profondeur inférieure à 15 cm, étant au moins des moyen(s) de réglage/régulation du débit des matières vitrifiables en fusion à l'entrée et/ou à la sortie du compartiment d'affinage (9).

21. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 20, **caractérisé en ce que** le canal d'écoulement (9) est équipé de moyens de chauffage, notamment du type brûleurs à oxygène (13) au-dessus des matières vitrifiables en fusion.

22. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 21, **caractérisé en ce que** le canal d'écoulement est muni de moyens d'homogénéisation des matières vitrifiables.

23. Dispositif selon la revendication 18, **caractérisé en ce que** le compartiment d'affinage comporte au moins un appareil (21) susceptible d'être mis en rotation pour assurer l'affinage par centrifugation, les parois internes (33) dudit appareil délimitant sensiblement une cavité sous la forme d'un cylindre creux, vertical dans sa partie médiane.

24. Dispositif selon la revendication 23, **caractérisé en ce que** l'appareil (21) susceptible d'être mis en rotation est muni dans la cavité de cloisons (34) sur au moins une partie de sa hauteur, contraignant les matières vitrifiables en fusion à s'écouler entre les parois internes (33) de

l'appareil et lesdites cloisons (34), la distance moyenne parois/cloisons définissant « l'épaisseur » de la couche mince.

25. Dispositif selon la revendication 24, **caractérisé en ce que** la distance moyenne parois/cloisons se définit par un rapport de leurs rayons $R1/R0$ d'au moins 0,8.

26. Dispositif selon l'une des revendications 23 à 25, **caractérisé en ce que** les parois de l'appareil sont garnies de pièces réfractaires (32) de type électrofondu comportant un isolant thermique (31) incorporé de façon à éviter l'écrasement par la force centrifuge.

27. Dispositif selon l'une des revendications 23 à 26, **caractérisé en ce que** l'appareil (21) est muni de moyen(s) de piégeage de particules solides, notamment localisés dans sa zone inférieure (23) et sous forme d'encoches/de rainures (28) pratiquées dans ses parois internes (33).

28. Dispositif selon l'une des revendications 23 à 27, **caractérisé en ce que** la vitesse de rotation de l'appareil (21) est comprise entre 100 et 1500 tours/min.

29. Application du procédé selon l'une des revendications 1 à 18 ou du dispositif selon l'une des revendications 19 à 28 à la fabrication de verre plat, notamment à couleur résiduelle bleue, à fonction anti-solaire, anti-feu, pour l'industrie électronique, à la fabrication de verre creux de type bouteilles, flacons, à la fabrication de laine de verre ou de fils de verre de renforcement.





